

ANALISIS PENENTUAN INTERVAL WAKTU PERAWATAN FINISH MILL BERDASARKAN DOWNTIME PADA PT. SEMEN TONASA

Muh. Rusdi, Muhammad Arsyad Suyuti¹⁾, Aditya P. H., Suryono²⁾

Abstrak: Penelitian ini dilakukan dengan cara mengolah data *downtime* dari masing-masing subsistem atau komponen, yang diubah menjadi data waktu antar kegagalan. Kemudian dilakukan pengujian data distribusi untuk mengetahui distribusi yang sesuai. Berdasarkan parameter yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan fungsi keandalan masing-masing subsistem atau komponen. Sehingga, nilai keandalan setiap komponen pada periode waktu tertentu dapat dihitung. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab kegagalan utama Unit *Finish Mill* selama bulan Maret 2010 – Maret 2013 adalah komponen atau subsistem 419BE01, 421BE01, 419WF01, 419FM01, 419AP01, 419FG03, 419SC01, 419FA07, 419OP01, 419AS02, 419OP10, 419BC01, 419FG04, 421GA01, 419MD02, 419OP06, 418PC07. Sehingga kehandalan difokuskan pada komponen atau subsistem tersebut, selanjutnya dilakukan penyusunan interval waktu perawatan sebagai strategi perawatan secara grup untuk mencapai kehandalan sistem yang ditargetkan.

Kata kunci: *downtime*, interval perawatan, kehandalan.

I. PENDAHULUAN

Secara umum perawatan merupakan kegiatan menjaga, memelihara, memperpanjang usia pakai serta dapat juga meningkatkan kemampuan dari mesin–mesin, fasilitas, komponen produksi dalam suatu pabrik atau industri. Interval waktu perawatan merupakan jarak waktu untuk melakukan kegiatan perawatan. *Downtime* merupakan waktu yang dibutuhkan pada saat suatu sistem atau komponen ketika mesin berhenti hingga kembali beroperasi pada saat terjadi kerusakan. *TPM* adalah *Total Productive Maintenance* yang berarti seluruh komponen, staf, karyawan suatu pabrik atau industri untuk turut serta terlibat dalam kegiatan perawatan sehingga bukan hanya dilakukan oleh bagian departemen perawatan.

Maintenance sendiri mencakup beberapa hal yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance*. *Planned maintenance* sendiri terbagi menjadi *preventive maintenance*, *corrective maintenance*, dan *improvement maintenance*, sedangkan *unplanned maintenance* sendiri adalah *emergency maintenance*. Namun kami secara khusus membahas tentang *preventive maintenance* yang merupakan salah satu sistem perawatan untuk menekan periode kerusakan hingga mencapai batas minimum, sehingga pergantian komponen sistem didasarkan pada *downtime*nya. Olehnya itu permasalahan untuk menentukan waktu terbaik untuk mengetahui kapan harus dilakukan pergantian subsistem atau komponen yang bertujuan untuk meminimalkan total *downtime* dari subsistem atau komponen tersebut berdasarkan teori kehandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*).

PT. Semen Tonasa merupakan industri yang bergerak dibidang tambang khususnya pembuatan semen. Perusahaan ini telah berdiri sejak tahun 1960 hingga

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

²⁾ Alumni Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

sekarang. Secara umum perawatan yang dilakukan oleh departemen perawatan di PT. Semen Tonasa sudah dilakukan dengan baik. Namun, pihak perusahaan masih perlu untuk terus melakukan perbaikan-perbaikan baik dalam bidang manajemen maupun secara teknis untuk meningkatkan produktivitas. Karena selama ini perawatan yang sering terjadi pada perusahaan ini, kegiatan perawatan dilakukan secara inspeksi dan pergantian komponen-komponen *finish mill* didasarkan pada tanda-tanda kerusakan komponen serta berdasarkan pengalaman. *finish mill* sendiri merupakan bagian terakhir pada proses pembuatan semen dimana *finish mill* adalah penggilingan terakhir sebelum menjadi produk semen yang kemudian dikemas yang kemudian siap untuk dipasarkan. Perusahaan ini menerapkan tiga jenis perawatan yaitu *corrective maintenance*, *periodic maintenance* dan *preventive maintenance* yang dilakukan setiap setahun sekali dan *preventive maintenance* yang dilakukan setiap 2 (dua) kali dalam sebulan. Namun metode ini masih belum maksimal. Oleh sebab itu diperlukan suatu metode untuk menentukan kehandalan mesin-mesin pada alat tersebut. Sehingga dapat ditentukan interval waktu perawatan setiap masing-masing mesin pada unit tersebut.

Prinsip utama dalam manajemen sistem perawatan adalah untuk menekan periode kerusakan (*breakdown period*) sampai batas minimum, maka keputusan penggantian komponen sistem berdasarkan *downtime* minimum menjadi sangat penting. Permasalahannya adalah penentuan waktu terbaik untuk mengetahui kapan penggantian harus dilakukan untuk meminimasi total *downtime*. Konflik yang dihadapi adalah pertama peningkatan frekuensi penggantian dapat meningkatkan *downtime* karena penggantian tersebut, tetapi dapat mengurangi waktu *downtime* akibat terjadinya kerusakan, kedua pengurangan frekuensi penggantian akan menurunkan *downtime* karena penggantian, tetapi konsekuensinya adalah kemungkinan peningkatan *downtime* karena kerusakan. Dari dua kondisi diatas diharapkan untuk dapat menghasilkan keseimbangan diantara keduanya (Jardine, 1973). Menurut Suyatmo (2004) teori keandalan (*reliability*) dan ketersediaan (*availability*) sistem beroperasi yang didasarkan pada hukum-hukum statistik dan teori kemungkinan cukup baik untuk meramalkan penentuan interval waktu inspeksi dengan analisa dan pengujian distribusi data kerusakan pada suatu sistem.

A. Perawatan

Beberapa pengertian perawatan (*maintenance*) menurut ahli, yaitu: perawatan merupakan suatu kombinasi dari tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau untuk memperbaikinya sampai, suatu kondisi yang bisa diterima (Corder, 1988). Perawatan diartikan sebagai suatu kegiatan pemeliharaan fasilitas pabrik serta mengadakan perbaikan, penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang sesuai dengan yang direncanakan (Assauri, 1993). Perawatan adalah semua tindakan yang penting dengan tujuan untuk menghasilkan produk yang baik atau untuk mengembalikan kedalam keadaan yang memuaskan (Dhillon, 1997).

Sedang tujuan dilakukan perawatan menurut Corder (1988) yaitu: memperpanjang kegunaan aset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya), menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi atau jasa untuk mendapatkan laba investasi semaksimal mungkin, menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran

- 3 Muh. Rusdi, Muhammad Arsyad Suyuti, Aditya P. H., Suryono, Analisis Penentuan Interval Waktu Perawatan Finish Mill Berdasarkan Downtime pada PT. Semen Tonasa

dan penyelamat dan sebagainya, menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

Blanchard (1980) mengklasifikasi perawatan menjadi 6 bagian, yaitu: *Corrective Maintenance*, *Preventive Maintenance*, dan *Predictive Maintenance*. *aintenance Prevention*, merupakan usaha mengarahkan *maintenance free design* yang digunakan dalam konsep “*Total Predictive Maintenance (TPM)*”. Melalui desain dan pengembangan peralatan, keandalan dan pemeliharaan dengan meminimalkan *downtime* dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya siklus hidup. *Adaptive Maintenance*, menggunakan *software* komputer untuk memproses data yang diperlukan untuk perawatan. *Perfective Maintenance*, meningkatkan kinerja, pembungkusan/ pengepakan/ pemeliharaan dengan menggunakan *software* komputer.

B. Analisis Pareto

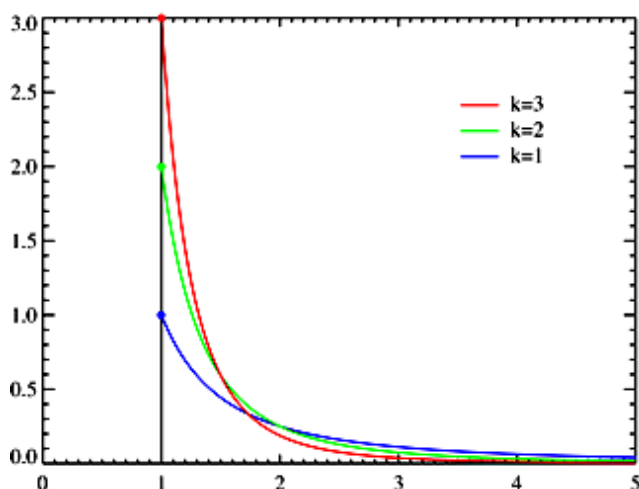
Analisis Pareto adalah suatu teknik dalam statistik dalam membuat keputusan yang dapat digunakan untuk memilih dari sejumlah tugas yang memberikan pengaruh secara keseluruhan. Dalam penggunaan prinsip Pareto, gambarannya adalah cukup dengan 20% kerja kita akan mendapatkan 80% keuntungan dari seluruh pekerjaan tersebut. Atau dalam hubungan peningkatan kualitas, permasalahan yang besar (80%) dapat muncul dengan hanya sedikit penyebab (20%). Analisis Pareto juga merupakan teknik yang secara formal digunakan untuk berbagai kemungkinan kegiatan yang bersaing untuk perhatian kita. Hal pokoknya, penyelesaian masalah akan memberikan keuntungan dari setiap kegiatan yang dilakukan, kemudian memilih beberapa kegiatan sangat efektif yang memberikan seluruh keuntungan yang akan menentukan satu kemungkinan yang maksimal.

Langkah-langkah dalam menentukan penyebab penting dalam analisis Pareto, yaitu:

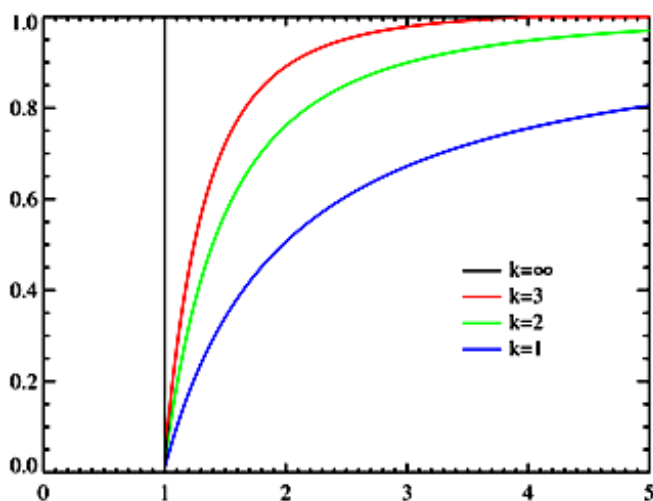
- Langkah 1 : Membuat tabel yang berisi daftar penyebab dan frekuensinya dalam persentase.
- Langkah 2 : Menyusun nomor urutan baris berdasarkan frekuensi kejadian penyebab (penyebab pertama adalah penyebab yang paling tinggi frekuensi kejadiannya)
- Langkah 3 : Menambahkan kolom persentase kumulatif pada tabel
- Langkah 4 : Membuat grafik hubungan antara penyebab pada *x*-axis dan persentase kumulatif pada *y*-axis
- Langkah 5 : Menghubungkan setiap titik menjadi sebuah kurva
- Langkah 6 : Membuat grafik (grafik yang sama) dalam bentuk grafik batang antara penyebab pada *x*- dan persen frekuensi pada *y*-axis
- Langkah 7 : Membuat garis dari 80% pada *y*-axis sejajar ke *x*-axis. Kemudian garisnya turun ke titik pertemuan dengan kurva pada *x*-axis. Titik ini pada *x*-axis akan memisahkan antara penyebab utama (di sebelah kiri) dan penyebab yang ringan (di sebelah kanan)

Distribusi Pareto, ditemukan dari seorang ahli ekonomi Italia Vilfrdo Pareto, adalah suatu alat pengambilan keputusan distribusi probabilitas yang dapat digunakan dalam hal sosial, ilmu pengetahuan, geofisika, asuransi, dan berbagai

jenis fenomena observasi. Selain di bidang ekonomi, biasanya digunakan sebagai Distribusi *Bradford*.



Gambar 1. Fungsi Kepadatan Probabilitas Pareto



Gambar 2. Fungsi Distribusi Kumulatif Pareto

C. Konsep Keandalan

Salah satu aspek yang mempengaruhi keberhasilan proses produksi adalah keandalan dari komponen, subsistem, atau sistem produksi untuk tidak mengalami kegagalan dalam jangka waktu operasi tertentu. Penerapan teori-teori keandalan dapat membantu untuk memperkirakan peluang suatu komponen, subsistem, atau sistem dapat melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu tertentu dengan kondisi operasi tertentu. Keandalan mesin-mesin produksi menjadi sangat penting karena akan mempengaruhi biaya pemeliharaan sistem produksi secara keseluruhan yang pada akhirnya akan mempengaruhi profitabilitas perusahaan.

1. Keandalan (*Reliability*)

Keandalan dapat didefinisikan sebagai probabilitas sistem akan memiliki kinerja suatu fungsi yang dibutuhkan dalam perioda waktu tertentu (Ebling, 1997). Definisi lain keandalan adalah probabilitas suatu sistem akan berfungsi secara

5 Muh. Rusdi, Muhammad Arsyad Suyuti, Aditya P. H., Suryono, Analisis Penentuan Interval Waktu Perawatan Finish Mill Berdasarkan Downtime pada PT. Semen Tonasa

normal ketika digunakan untuk periode waktu yang diinginkan dalam kondisi operasi yang spesifik (Dhillon, 1997). Keandalan juga didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan (Priyanta, 2000).

Dari berbagai definisi tersebut disimpulkan bahwa keandalan adalah probabilitas suatu komponen, subsistem, atau sistem untuk melaksanakan fungsinya tanpa mengalami kegagalan dalam kondisi operasional tertentu pada suatu periode waktu tertentu. Fungsi yang dimaksud di atas dapat berupa sebuah fungsi atau gabungan dari berbagai fungsi yang diperlukan untuk melayani suatu kebutuhan.

Berdasarkan definisi di atas, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Probabilitas, dimana nilai *reliability* adalah berada diantara 0 dan 1.
2. Kemampuan yang diharapkan, harus digambarkan secara terang atau jelas. Untuk setiap unit terdapat suatu standar untuk menentukan apa yang dimaksud dengan kemampuan yang diharapkan.
3. Tujuan yang diinginkan, dimana kegunaan peralatan harus spesifik. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa tingkatan dalam memproduksi suatu barang konsumen.
4. Waktu, merupakan parameter yang penting untuk melakukan penilaian kemungkinan suksesnya suatu sistem.
5. Kondisi Lingkungan, mempengaruhi umur dari sistem atau peralatan seperti suhu, kelembaban dan kecepatan gerak. Hal ini menjelaskan bagaimana perlakuan yang diterima sistem dapat memberikan tingkat keandalan yang berbeda dalam kondisi operasionalnya.

Selain nilai probabilitas yang telah disebutkan, juga dikembangkan nilai keandalan dalam bentuk yang lain, yaitu:

- Jumlah kegagalan yang terjadi dalam periode waktu tertentu.
- Waktu rata-rata antar kegagalan.
- Laju kegagalan dari suatu komponen.
- Waktu rata-rata *downtime* dari suatu sistem atau peralatan.

2. Fungsi Keandalan

Keandalan dari suatu komponen, subsistem, atau sistem adalah probabilitas untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu t atau lebih. Keandalan dari suatu komponen, subsistem, atau sistem adalah probabilitas untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu t atau lebih.

Dalam mengevaluasi keandalan suatu sistem, variabel random yang dipakai umumnya adalah waktu. Pada saat $t = 0$ komponen atau suatu sistem berada dalam kondisi akan beroperasi, sehingga probabilitas komponen atau sistem itu untuk mengalami kegagalan pada saat $t = 0$ adalah 0. Pada saat $t \rightarrow \infty$ probabilitas untuk mengalami kegagalan dari suatu komponen atau sistem yang akan dioperasikan cenderung mendekati 1. Karakteristik ini sama dengan fungsi distribusi kumulatif. Fungsi distribusi kumulatif ini akan mengukur probabilitas kegagalan dari suatu sistem atau komponen sebagai fungsi waktu. Dalam terminologi keandalan fungsi distribusi kumulatif ini dikenal sebagai fungsi

distribusi kegagalan kumulatif (*cumulative failure distribution*), biasanya dilambangkan dengan $F(t)$.

Jika $R(t)$ menyatakan fungsi keandalan dari komponen atau suatu sistem sebagai fungsi waktu maka hubungan antara fungsi keandalan $R(t)$ dan distribusi kegagalan kumulatif atau fungsi ketakandalan $F(t)$ dihubungkan oleh sebuah formula dibawah ini (Priyanta, 2000) :

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (1)$$

Dimana: $R(t)$ = keandalan (*reliability*) dan $F(t)$ = probabilitas kegagalan/ketakandalan

Persamaan 1 menunjukkan bahwa fungsi distribusi probabilitas merupakan turunan dari distribusi probabilitas kumulatif. Dalam terminologi keandalan fungsi distribusi probabilitas ini disebut dengan fungsi densitas kegagalan (*failure density function*). Fungsi densitas kegagalan ini, yang dinotasikan dengan $f(t)$, dapat diturunkan baik dari fungsi ketakandalan maupun fungsi keandalan seperti formula dibawah ini:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (2)$$

Sebaliknya fungsi ketakandalan maupun fungsi keandalan dapat diperoleh dari fungsi densitas kegagalan seperti yang dituliskan dalam formulasi dibawah ini.

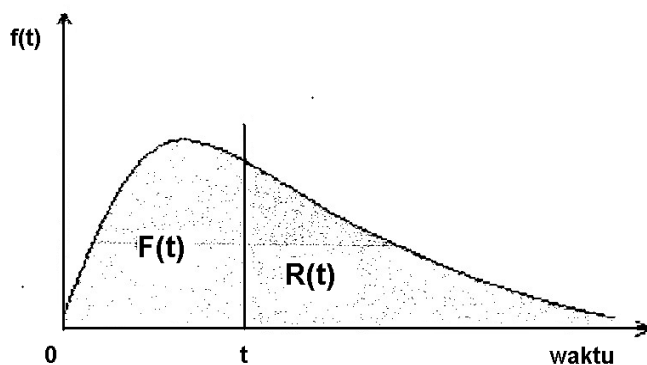
$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (3)$$

dan

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (4)$$

3. Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, subsistem, atau sistem. Dalam gambar 3 menunjukkan sebuah tipikal kurva fungsi densitas kegagalan. Sesuai dengan formulasi fungsi ketakandalan dan keandalan yang ditunjukkan pada rumus (3) dan (4) maka luasan daerah dibawah kurva untuk interval mulai dari 0 sampai t mewakili fungsi ketakandalan sedangkan luasan daerah dibawah kurva untuk interval mulai dari t sampai tak terhingga.



Gambar 3. Tipikal fungsi densitas kegagalan

Sehingga persamaan (5) dapat disederhanakan menjadi:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5)$$

Dimana $f(t)$ = fungsi padat peluang (*pdf*)

4. Mean Time Between Failure (MTBF)

MTBF adalah waktu rata-rata antar kegagalan atau rata-rata waktu beroperasinya komponen, subsistem, atau sistem tanpa mengalami kegagalan. *MTBF* diperoleh dari hasil bagi antara total waktu operasi dengan jumlah kegagalan dalam periode waktu operasi tersebut. Menurut Priyanta waktu rata-rata antar kegagalan (*mean time between failure* = *MTBF*) dari suatu sistem yang memiliki fungsi densitas kegagalan (*failure density function*) $f(t)$ didefinisikan oleh nilai harapan dari komponen itu. Secara matematis waktu rata-rata antar kegagalan dapat diekspresikan sebagai :

$$MTBF = E(T) = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (6)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2) kedalam persamaan (6), maka diperoleh

$$MTBF = \int_0^{\infty} tR'(t)dt \quad (7)$$

Persamaan (7) dapat diselesaikan dengan memakai integral parsial

$$MTBF = -[tR(t)]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t)dt$$

Jika $MTBF < \infty$, maka nilai dari $[tR(t)]_0^{\infty} = 0$, sehingga persamaan diatas menjadi

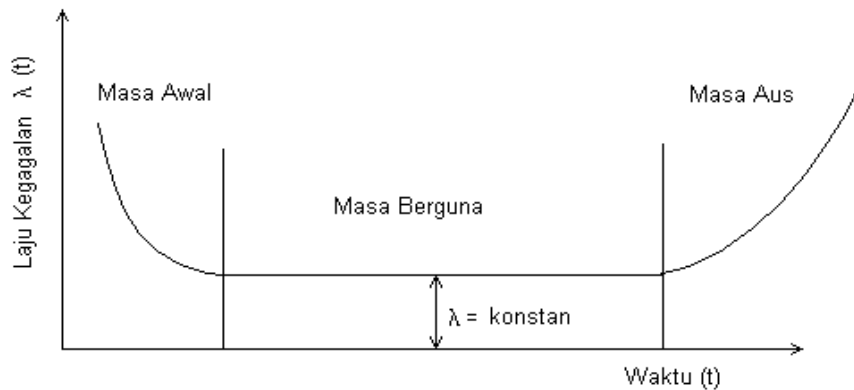
$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (8)$$

5. Karakteristik Kegagalan

Karakteristik kegagalan komponen, subsistem, atau sistem dapat dibagi menjadi tiga tahap yang biasa disebut *bathub-shaped*, dan hal ini seperti ditunjukkan pada gambar 4. Tiga tahapan tersebut antara lain:

1. Kegagalan awal (*infant mortality failures*); Kegagalan awal pada umumnya terjadi pada awal pengoperasian suatu komponen, subsistem, atau sistem. Kegagalan pada tahap ini ditandai dengan laju kerusakan yang menurun. Kegagalan pada tahap ini umumnya disebabkan karena pengoperasian yang tidak tepat, belum terampilnya operator, pemasangan yang tidak tepat, kontrol kualitas yang rendah, sehingga perlu beberapa penyesuaian lebih lanjut.
2. Kegagalan masa berguna/acak (*random failures*); Kegagalan masa berguna umumnya terjadi pada komponen, subsistem, atau sistem yang berjalan normal. Laju kegagalan pada tahap ini ditandai dengan laju kegagalan yang konstan. Artinya tidak ada kecenderungan (*trend*) pada laju kegagalan. Setiap saat komponen, subsistem, atau sistem mempunyai kemungkinan untuk mengalami kegagalan.
3. Kegagalan masa aus (*wear-out failures*); Pada usia kegunaan tertentu suatu komponen, subsistem, atau sistem mengalami keausan yang ditandai dengan laju kegagalan yang semakin meningkat. Untuk mengurangi pengaruh keausan

ini biasanya dilakukan penggantian (*replacement*) beberapa bagian alat atau bahkan seluruhnya dengan yang baru.

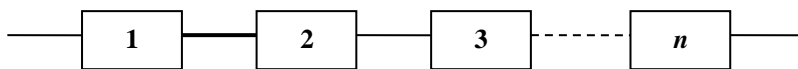


Gambar 4. Kurva karakteristik laju kegagalan (*bathtub-shaped*)

6. Pemodelan Keandalan Sistem

a. Susunan Seri

Sistem seri dapat melaksanakan fungsinya atau beroperasi jika semua komponen dalam sistem tersebut beroperasi. Jika salah satu komponen mengalami kegagalan, maka secara keseluruhan sistem mengalami kegagalan. Sistem seri dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5. Model keandalan sistem seri

Jika keandalan masing-masing komponen adalah $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, maka keandalan sistem seri adalah (Prianta: 2000) :

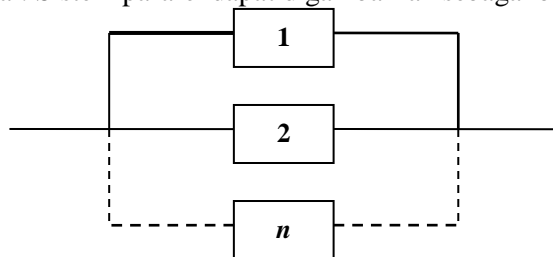
$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n$$

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (9)$$

Dimana: R_s = keandalan sistem seri.

b. Susunan Paralel

Sistem paralel dapat melaksanakan fungsinya jika minimal satu komponen dari penyusunnya beroperasi. Sistem paralel gagal bila seluruh komponen penyusunnya gagal. Sistem paralel dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 6. Model keandalan sistem paralel

Jika keandalan masing-masing komponen adalah $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, maka keandalan sistem paralel adalah (Prianta: 2000) :

- 9 Muh. Rusdi, Muhammad Arsyad Suyuti, Aditya P. H., Suryono, Analisis Penentuan Interval Waktu Perawatan Finish Mill Berdasarkan Downtime pada PT. Semen Tonasa

$$R_s = 1 - [(1 - R_1)x(1 - R_2)x(1 - R_3)x \dots x(1 - R_n)]$$

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (10)$$

Dimana: R_s = keandalan sistem parallel

Langkah pertama dalam analisa data kegagalan dari suatu sistem, dapat menggunakan prinsip analisa Pareto. Analisa Pareto digunakan untuk menentukan subsistem/komponen mana saja yang memberikan kontribusi terhadap kegagalan sistem. Dari Analisa Pareto dapat ditentukan subsistem/komponen yang menyebabkan kegagalan utama sistem, sehingga dapat ditentukan subsistem/komponen mana saja yang perlu dilakukan analisa keandalan lebih lanjut.

7. Distribusi Data Waktu Antar Kegagalan

Dalam pembahasan teori keandalan, distribusi statistik yang banyak digunakan adalah distribusi kontinyu karena distribusi ini sangat cocok untuk sistem yang beroperasi secara kontinyu. Distribusi kontinyu terdiri atas distribusi Eksponensial, Weibull, Normal, dan Lognormal. Berikut ini penjelasan mengenai masing-masing distribusi tersebut terkait dengan fungsi padat peluang, keandalan, laju kegagalan, dan *MTBF*.

a. Distribusi Eksponensial

Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi eksponensial adalah (Priyanta: 2000) :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad , \quad t > 0, \quad \lambda > 0, \quad t \geq \gamma \quad (11)$$

Dimana: λ = Laju Kegagalan (*failure rate*) dan γ = Parameter lokasi (*location parameter*)

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi eksponensial, maka (Priyanta: 2000) :

a. Fungsi keandalan distribusi eksponensial adalah: $R(t) = e^{-\lambda(t-\gamma)}$ (12)

b. Laju kegagalan distribusi eksponensial adalah : λ (13)

c. $MTBF = 1/\lambda$ (14)

b. Distribusi Weibull

Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi weibull adalah (Priyanta: 2000) :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (15)$$

Dimana:

η = parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$

β = parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$

γ = parameter lokasi (*location parameter*)

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem atau sistem mengikuti distribusi weibull, maka (Priyanta, 2000):

a. Fungsi keandalan distribusi weibull adalah:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (16)$$

b. Laju kegagalan distribusi Weibull adalah:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (17)$$

$$c. \text{ MTBF} = \gamma + \eta \Gamma(1/\beta + 1) \quad (18)$$

c. Distribusi Normal

Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi normal adalah (Priyanta: 2000) :

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (19)$$

Dimana: μ = rata-rata (*mean*) dan σ = standar deviasi

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi normal, maka:

Fungsi keandalan distribusi normal adalah (Priyanta : 2000) :

$$a. \quad R(t) = \int_t^\infty \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (20)$$

b. Laju kegagalan distribusi normal adalah:

$$\lambda(t) = \frac{\exp \left[- (t - \mu)^2 / 2\sigma^2 \right]}{\int_t^\infty \exp \left[- (t - \mu)^2 / 2\sigma^2 \right] dt} \quad (21)$$

$$c. \text{ MTBF} = \mu \quad (22)$$

d. Distribusi Lognormal

Waktu antar kegagalan dari suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi Log normal bila $y = \ln(t)$, mengikuti disubstitusi Normal dengan rata-rata t_o dan varians s . Fungsi padat peluang (*probability density function*) distribusi lognormal adalah (Priyanta: 2000) :

$$f(t) = \frac{1}{t.s\sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - t_o}{s} \right)^2 \right] \quad (23)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu komponen, subsistem, atau sistem mengikuti distribusi lognormal, maka:

a. Fungsi keandalan distribusi lognormal adalah:

$$R(t) = 1 - \Phi \left[\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_o} \right] \quad (24)$$

b. Failure rate secara umum:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (25)$$

$$c. \text{ MTBF} = \exp(t_o + (0,5 \times s^2)) \quad (26)$$

11 Muh. Rusdi, Muhammad Arsyad Suyuti, Aditya P. H., Suryono, Analisis Penentuan Interval Waktu Perawatan Finish Mill Berdasarkan Downtime pada PT. Semen Tonasa

e. Pengujian Distribusi

Pada data waktu antar kegagalan dari komponen, subsistem, atau sistem harus dilakukan uji distribusi agar teori-teori kegagalan yang telah dijelaskan sebelumnya dapat digunakan. Metode pengujian dilakukan dengan penggunaan program bantu software *Weibull – Plus 4.0*, pemilihan distribusi probabilitas data waktu antar kegagalan yang paling sesuai ditentukan oleh 3 parameter uji, yaitu:

- a. *Average Goodness of Fit (AvGOF)*.
- b. *Average of Plot (AvPlot)*.
- c. Nilai dari *Likelihood Function Value (LKV)*.

Jika ada sekumpulan data waktu kegagalan (*TBF*) dari sebuah komponen, kita tidak bisa langsung menyimpulkan bahwa data tersebut memiliki distribusi normal untuk memodelkan kegagalan sistem, kecuali ada bukti-bukti fisik yang menunjang. Pertanyaan yang timbul adalah seberapa tepat data yang memiliki kesesuaian dengan distribusi probabilitas tertentu untuk memodelkan kegagalan komponen. Pertanyaan ini dapat dilakukan dengan melakukan uji kesesuaian (*goodness-of-fit test*). Ada beberapa metode untuk melakukan pengujian ini, seperti *maximum likelihood estimasi (MLE)*, *chi-square test (X^2)* dan *Kolmorov – Smirnov (K-S)* test. Dalam mengolah data ada beberapa *software* komersial yang bisa dipakai dan menyediakan fasilitas untuk analisa data seperti yang telah disebutkan diatas, diantaranya *Weibull++*.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di PT. Semen Tonasa Pangkep dengan waktu penelitian selama 3 bulan dari bulan Mei sampai Juni 2013. Dalam proses ini yang menjadi obyek penelitian yaitu: data downtime dari unit *finish mill*, proses produksi, dan data umum dari perusahaan, interview selain itu juga melakukan pengamatan di lapangan. Dalam analisis keandalan, faktor–faktor utama yang menjadi dasar analisis adalah data perbedaan waktu antar kegagalan. Sehingga data yang dibutuhkan adalah data *downtime* pada setiap mesin pada bagian departemen perawatan. Untuk mengidentifikasi variabel dibatasi hal–hal berikut:

- Sistem dari berbagai komponen pada bagian *finish mill*
- Rincian data *downtime* pada komponen atau subsistem utama dari seksi pemeliharaan berupa data operasi produksi harian (*log sheet*)
- Data pendukung seperti data diagram alur, proses produksi, *general lay –out* dari seksi pemeliharaan
- Data umum dari pihak manajemen perusahaan

Dalam mengelola data–data dapat dilakukan dengan bantuan *software Weibull++ 4.0*, untuk analisa kehandalan, dengan langkah pengerjaannya sebagai berikut:

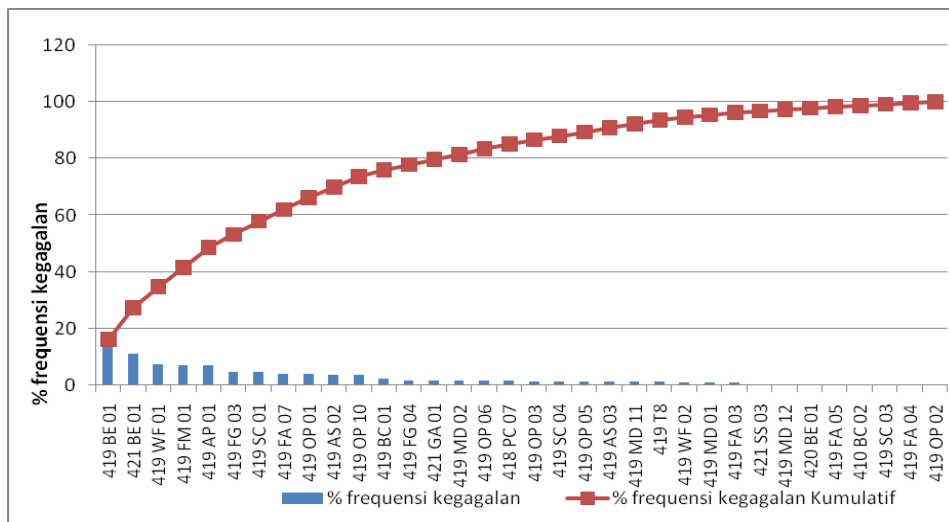
- Melakukan analisa Pareto untuk menentukan subsistem atau komponen penyebab dari kegagalan utama pada *finish mill*
- Data *downtime* dari data operasi produksi (*log sheet*) dikonversi menjadi data antara waktu kegagalan (*TBF*).
- Pendugaan distribusi data antara kegagalan menggunakan program bantu *weibull++ 4.0* dengan metode *Rank Regression*, dengan membandingkan *Goodness of fit*, *plot fit*, dan *likelihood function value*. Dari sini didapatkan distribusi probabilitas yang paling sesuai untuk data waktu antar kegagalan

- Berdasarkan parameter-parameter distribusi yang diperoleh maka didapatkan fungsi keandalan, *failure rate* dan *MTBF*
- Berdasarkan hasil analisa keandalan dapat ditentukan strategi perawatan masing masing mesin dalam mencapai target keandalan sistem yang telah direncanakan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Berdasarkan Hasil Analisa Pareto

Dari data shutdown finish mill kemudian dilakukan seleksi menjadi beberapa kelompok berdasarkan masing masing sub system (lampiran, *laporan start stop Cement Mill*). Berdasarkan data frekuensi kegagalan finish mill pabrik unit Semen Tonasa IV selama tahun produksi maret 2010 sampai dengan maret 2013 yang disusun berdasarkan peralatan atau komponen yang paling banyak mengalami kegagalan atau kerusakan pada tabel. Pada tabel 1 dan gambar 7 diagram pareto diketahui bahwa 93,518 % kerusakan atau kegagalan disebabkan oleh peralatan 419BE01, 421BE01, 419WF01, 419FM01, 419AP01, 419FG03, 419SC01, 419FA07, 419OP01, 419AS02, 419OP10, 419BC01, 419FG04, 421 GA01, 419MD02, 419OP06, 418PC07, 419OP03, 419SC04, 419OP05, 419AS03, 419MD11, 419T8.



Gambar 7. Diagram Frekuensi Kegagalan Unit *Finish Mill* Tahun Produksi 2010 - 2013

Berdasarkan data analisis pareto frekuensi kegagalan atau kerusakan *Finish Mill* selama tahun produksi maret 2010 sampai dengan maret 2013 diketahui penyebab kegagalan adalah 419BE01 (16.204%), 421BE01 (11.111%), 419WF01 (7.407%), 419FM01 (6.944%), 419AP01 (6.944%), 419FG03 (4.630%), 419SC01 (4.630%), 419FA07 (4.167%), 419OP01 (4.167%), 419OP10 (3.704%), 419AS02 (3.704%), 419BC01 (2.315%), 419FG04 (1.852%), 421GA01 (1.852%), 419MD02 (1.852%), 419OP06 (1.852%), 418PC07 (1.852%), 419OP03 (1.389%), 419SC04 (1.389%), 419OP05 (1.389%), 419AS03 (1.389%), 419MD11 (1.389%), 419T8 (1.389%). Sedangkan peratan yang lain yang frekuensinya tidak mencapai 1% dari total kegagalan atau kerusakan unit finish mill dapat dilihat pada tabel dan diagram pareto frekuensi kegagalan unit finish mill.

Berdasarkan analisa keandalan dan optimasi interval waktu perawatan kemudian di fokuskan pada komponen atau sub sistem penyebab kegagalan atau kerusakan utama dengan frekuensi kerusakan 85,185% adalah 419BE01, 421BE01, 419WF01, 419FM01, 419AP01, 419FG03, 419SC01, 419FA07, 419OP01, 419AS02, 419OP10, 419BC01, 419FG04, 421GA01, 419MD02, 419OP06, 418PC07, berdasarkan hubungannya dengan pemodelan keandalan sistem serta komponen sistem yang memiliki presentase frekuensi kerusakannya rendah diasumsikan memiliki keandalan 100%.

B. Hasil Analisa Pemilihan Distribusi

Berdasarkan data distribusi statistik waktu antar kegagalan unit finish mill berdasarkan masing-masing komponen beserta parameternya ditunjukkan pada tabel dibawah.

Tabel 1. Distribusi waktu antar kegagalan subsistem/komponen

No.	Komponen	Distribusi	Parameter
1	419 BE 01	Eksponensial	$\lambda=0.0038, \gamma=0.0000$
2	421 BE 01	Weibull	$\beta=1.0602, \eta=349.0091, \gamma=-24.9865$
3	419 WF 01	Normal	$\mu=272.3583, \sigma=225.8695$
4	419 FM 01	Weibull	$\beta=1.0338, \eta=322.0315, \gamma=-15.462$
5	419 AP 01	Weibull	$\beta=0.8432, \eta=279.7891, \gamma=-4.6500$
6	419 FG 03	Weibull	$\beta=0.5037, \eta=258.0184, \gamma=-1.1559$
7	419 SC 01	Weibull	$\beta=1.2264, \eta=245.4494, \gamma=0.0000$
8	419 FA 07	Normal	$\mu=272.4352, \sigma=341.9427$
9	419 OP 01	Eksponensial	$\lambda=0.0016, \gamma=0.0000$
10	419 AS 02	Eksponensial	$\lambda=0.0050, \gamma=74.0690$
11	419 OP 10	Weibull	$\beta=0.5815, \eta=271.9499, \gamma=15.4825$
12	419 BC 01	Weibull	$\beta=1.3242, \eta=371.8900, \gamma=-67.1831$
13	419 FG 04	Lognormal	$t_0=4.6188, s=1.0172$
14	421 GA 01	Weibull	$\beta=0.3490, \eta=50.0629, \gamma=183.6233$
15	419 MD 02	Weibull	$\beta=0.4831, \eta=313.4495, \gamma=46.7266$
16	419 OP 06	Normal	$\mu=329.5625, \sigma=353.3274$
17	418 PC 07	Weibull	$\beta=0.6096, \eta=294.8255, \gamma=0.0000$

C. Hasil Analisa Laju Kegagalan Dan MTBF

Dari hasil analisa MTBF pada setiap komponen diperlukan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan interval perawatan, berdasarkan analisa keandalan. Analisa MTBF (*Mean Time Before Failure*) dilakukan berdasarkan data TBF (*Time Before Failure*) didapatkan pola laju kegagalan, MTBF, serta keandalan setiap komponen seperti yang terlihat pada tabel dibawah

Tabel 2. Pola laju kegagalan, Nilai MTBF dan keandalan komponen Penyebab kegagalan utama finish mill

No.	Komponen	Laju kegagalan	MTBF(Jam)	R(MTBF)
1	419 BE 01	Cenderung Konstan	263.2	36.8%
2	421 BE 01	Cenderung Konstan	629.6	14.3%

3	419 WF 01	Cenderung Meningkat	272.4	50.0%
4	419 FM 01	Cenderung Konstan	603.1	14.0%
5	419 AP 01	Cenderung Konstan	601.4	14.7%
6	419 FG 03	Cenderung Turun	766.8	17.7%
7	419 SC 01	Cenderung Meningkat	445.6	12.5%
8	419 FA 07	Cenderung Meningkat	427.4	50.0%
9	419 OP 01	Cenderung Konstan	625.0	36.8%
10	419 AS 02	Cenderung Konstan	200.0	53.3%
11	419 OP 10	Cenderung Turun	781.7	16.1%
12	419 BC 01	Cenderung Meningkat	534.8	15.1%
13	419 FG 04	Cenderung Turun	170.1	30.5%
14	421 GA 01	Cenderung Turun	903.3	7.9%
15	419 MD 02	Cenderung Turun	1105.7	18.2%
16	419 OP 06	Cenderung Meningkat	329.6	42.1%
17	418 PC 07	Cenderung Turun	778.5	16.4%

Dengan dilakukannya perhitungan *MTBF* berdasarkan data *Time Between Failure* sehingga data perhitungan dilakukan distribusi yang sesuai. *MTBF* merupakan data waktu antar kegagalan atau dengan kata lain rata-rata beroprasinya subsistem/komponen, penyebab perbedaan distribusi cara perhitungan *MTBF* karena memiliki metode perhitungan yang berbeda satu sama lainnya. Pada analisa *MTBF* menunjukkan bahwa sebenarnya usia pakai dari keseluruhan subsistem/komponen yang menyebabkan terjadinya kegagalan utama pada unit finish mill antara 170.076 Jam sampai dengan 1105.728 Jam. Olehnya itu sistem perawatan sudah tepat sehingga breakdown bisa dihindari. Analisa data *MTBF* dari subsistem/komponen dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan interval perawatan. Hasil penelitian ini juga telah dilakukan oleh Suyuti dan Nur (2016) untuk studi kasus di PT. Semen Bosowa Maros.

D. Penentuan Strategi Perawatan

Keandalan komponen finish mill dapat ditingkatkan dengan melakukan, perawatan secara paralel berdasarkan waktu perawatan yang terendah hingga yang tertinggi serta melakukan pengelompokan pada komponen berdasarkan jangka waktu yang berdasarkan *MTBF*nya seperti pada tabel dibawah

Tabel 3. Besar nilai *MTBF* dan *MTTR* setiap komponen

No.	Komponen	<i>MTBF</i> (Jam)	<i>MTTR</i> (Jam)
1	419 BE 01	263.2	15.7
2	421 BE 01	629.6	7.2
3	419 WF 01	272.4	5.8
4	419 FM 01	603.1	4.6
5	419 AP 01	601.4	3.3
6	419 FG 03	766.8	2.4
7	419 SC 01	445.6	44.6
8	419 FA 07	427.4	22.9

15 Muh. Rusdi, Muhammad Arsyad Suyuti, Aditya P. H., Suryono, Analisis Penentuan Interval Waktu Perawatan Finish Mill Berdasarkan Downtime pada PT. Semen Tonasa

9	419 OP 01	625.0	2.8
10	419 AS 02	200.0	10.3
11	419 OP 10	781.7	4.3
12	419 BC 01	534.8	248.7
13	419 FG 04	170.1	6.0
14	421 GA 01	903.3	0.5
15	419 MD 02	1105.7	3.5
16	419 OP 06	329.6	10.0
17	418 PC 07	778.5	65.9

Pada tabel diatas ditunjukkan nilai *MTBF (Mean Time Beetwen Failure)* yang berarti waktu beroperasi setiap komponen hingga masa perawatan, perbaikan, atau pergantian komponen tersebut, dan nilai *MTTR (Mean Time To repair)* yang berarti waktu yang digunakan untuk melakukan perbaikan, perawatan, atau pergantian komponen tersebut.

Tabel 4. Jadwal interval waktu perawtan

No.	Nama Komponen	Interval Waktu Perawatan (Hari)	Downtime (Jam)
1	419AS02	7	10
	419WF01		6
2	419BE01	11	15.7
	419WF01		5.8
	419OP06		10
3	419SC01	17	44.6
	419FA07		22.9
4	421BE01	25	15.7
	419FM01		4.6
	419AP01		3.3
	419OP01		2.8
5	419FG03	31	2.4
	419OP10		4.3
	418PC07		65.9
6	419BC01	22	248.7
7	421GA01	37	0.5
8	419MD02	46	3.5

IV. PENUTUP

Dari hasil pengujian dan analisa data serta pembahasan maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Dari data shutdown finish mill frekuensi kegagalan finish mill pabrik unit Semen Tonasa IV (maret 2010 - maret 2013) 93,518 % kerusakan atau kegagalan disebabkan oleh peralatan 419BE01, 421BE01, 419WF01, 419FM01, 419AP01, 419FG03, 419 SC01, 419FA07, 419OP01, 419AS02, 419OP10, 419BC01, 419FG04, 421 GA01, 419MD02, 419OP06, 418PC07, 419OP03, 419SC04, 419OP05, 419AS03, 419MD11, 419T8.
2. Berdasarkan analisa keandalan dan optimasi interval waktu perawatan kemudian di fokuskan pada komponen atau sub sistem penyebab kegagalan atau kerusakan utama dengan frekuensi kerusakan 85,185% adalah 419BE01, 421BE01, 419WF01, 419FM01, 419AP01, 419FG03, 419SC01, 419FA07,

- 419OP01, 419AS02, 419OP10, 419BC01, 419FG04, 421GA01, 419MD02, 419OP06, 418PC07,
3. berdasarkan hubungannya dengan pemodelan keandalan sistem serta komponen sistem yang memiliki presentase frekuensi kerusakannya rendah diasumsikan memiliki keandalan 100%.
 4. Pada analisa MTBF menunjukkan bahwa sebenarnya usia pakai dari keseluruhan sub sistem/komponen yang menyebabkan terjadinya kegagalan utama pada unit finish mill antara 170.076 Jam sampai dengan 1105.728 Jam.
 5. Keandalan komponen finish mill dapat ditingkatkan dengan melakukan, perawatan secara paralel berdasarkan waktu perawatan yang terendah hingga yang tertinggi serta melakukan pengelompokan pada komponen berdasarkan jangka waktu yang berdasarkan MTBF-nya.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Ebeling, Charles E, 1997. *Reliability and Maintainability Engineering*, International Edition, McGraw-Hill.
- Iriawan, Nur, dkk., 2006. Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14, C.V Andi Offset, Yogyakarta.
- Jardine, A.K.S, 1973. *Maintenance Replacement and Reliability*, Pitman Publishing, London.
- Kurniati, Nani dkk., 2012. Penentuan Kebijakan Perawatan Mesin Mempertimbangkan Safety dengan Pendekatan Mechanical Integrity Program (MIP), Prosiding Seminar Nasional XIII – FTI-ITS, Surabaya.
- Mettas, Adamantios, 2000. *Reliability Allocation and Optimization for Complex System, Proceeding of Annual Reliability and Maintainability Symposium*. (www.reliasoft.com/pubs/2000rm_087.pdf, diunduh pada 27 November 2012)
- Nandiro, Siti, dkk., 2006. Waktu Perawatan Untuk Pencegahan Pada Komponen Kritis *Cyclone Feed Pump* Berdasarkan Kriteria Minimasi *Down Time*. Jurnal Ilmiah Teknik Industri, (*On Line*), Vol 5, No.1, (<http://eprints.ums.ac.id/jurnal/index.php?t=gelagar>, diakses 20 November 2012).
- Octavia, Tanti, dkk., 2001. Implementasi Total *Productive Maintenance* Di Departemen Non Jahit PT. Kerta Jasa Raya. Jurnal Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, (*On Line*), Vol 3, No.1, (<http://puslit.petra.ac.id/journals/industrial>, diakses 27 November 2012).
- O'Connor, Patrick D.T., 1991. *Practical Reliability Engineering*, 3rd Edition Revised, John Wiley & Sons Ltd. England.
- Priyanta, Dwi, dkk., 2000. Keandalan dan Perawatan, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Surabaya.

- 17 Muh. Rusdi, Muhammad Arsyad Suyuti, Aditya P. H., Suryono, *Analisis Penentuan Interval Waktu Perawatan Finish Mill Berdasarkan Downtime pada PT. Semen Tonasa*
- Santoso, Leksana B., dkk., 2012. Perancangan Perawatan Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* di Unit Asam Sulfat PT. Petrokimia Gresik, Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana VII FTI-ITS.
- Suyatmo, Mamo, dkk., 2004. Model Penentuan Internal Waktu Inspeksi Dan Factor Persediaan Suku Cadangan Dengan Analisis Keandalan Dan Ketersediaan Sistem Operasi Dalam Pemeliharaan Kapal TNI – AL, Tesis MT, Departemen Teknik Industri ITB, (<http://digilib.ti.itb.ac.id/go.php/id>, diakses 22 November 2012).
- Vassiliou, Pantelis D., 1994. *Weibull-Plus Version 3.0 User Manual*, ReliaSoft, Tucson Arizona.
- Walpole, R. E., R. H. Myers, 1986. Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuawan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wijaya, Yossy M, dkk., 2003. Perumusan Strategi Penggunaan Modul PCM-*Exchange* Unit Berdasarkan Merek Dagang Dengan Pendekatan *Reliability*. Jurnal Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, (On Line), Vol 5, No.2 (<http://puslit.petra.ac.id/journals/industrial>, diakses 25 November 2012).
- Anggono, Willyanto, dkk., 2005. *Preventive Maintenance System* Dengan *Modularity Design* Sebagai Solusi Penurunan Biaya *Maintenance*. Jurnal Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, (On Line), Vol 7, No.1, (<http://puslit.petra.ac.id/journals/industrial>, diakses 17 November 2012).
- Campbell, John D., 2001. *Maintenance Excellence Optimizing Equipment Life-Cycle Decision*, Marcel Dekker, Inc, New York.
- Djunaidi, Much, dkk., 2012. Usulan Interval Perawatan Komponen Kritis Pada Mesin Pencetak Botol (*Mould Gear*) Berdasarkan Kriteria Minimasi *Downtime*. Jurnal Ilmiah Teknik Industri, (On Line), Vol 18, No. 01. (<http://eprints.ums.ac.id/jurnal/index.php?t=gelagar>, diakses 17 November 2012).
- Suyuti, M. A., and Nur, R. 2016. Determining Interval Time of Maintenance in Bosowa Cement Indonesia using Reliability Method. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 3(2), 62-65.